



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

TESTOVÁNÍ AUTONOMNÍCH VOZIDEL

AUTONOMOUS VEHICLES TESTING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Nágl

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Porteš, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: Jiří Nágl
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Porteš, Ph.D.
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Testování autonomních vozidel

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rozvoj autonomních vozidel předpokládá nárůst nutnosti testování vozidel v takovém rozsahu, že se bez automatizace testů a virtuálního testování nebude možné obejít.

Cíle bakalářské práce:

Vypracovat odbornou rešerši zaměřenou na:

- testovací polygony a testování vozidla na zkušebních drahách,
- testování vozidla v reálném provozu,
- virtuální testování a softwarové nástroje.

Seznam doporučené literatury:

GILLESPIE, T. D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. 1st ed. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1992. 495 s. ISBN 15-609-1199-9.

ÖZGÜNER, Ü., ACARMAN, T., REDMILL, K. A. Autonomous ground vehicles. Boston: Artech House, c2011. Intelligent transportation systems. ISBN 978-1-60807-192-0.

CHENG, H. Autonomous Intelligent Vehicles: Theory, Algorithms, and Implementation (Advances in Computer Vision and Pattern Recognition). Springer, 2011. ISBN 978-1-4471-2279-1.

ISO 15037-1:2006(E) Road vehicles - vehicle dynamics test methods - Part 1: General conditions for passenger cars.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Předmětem této bakalářské práce je rešerše autonomních vozidel a jejich testování. V první části je práce zaměřena na autonomní vozidla a konektivitu mezi nimi. Následně se věnuje testování autonomních vozidel na polygonech a testování v reálném provozu. Poslední kapitola zahrnuje virtuální testování a softwary k tomu určené.

KLÍČOVÁ SLOVA

autonomní vozidla, testování, testovací polygon, virtuální testování, software

ABSTRACT

The aim of this bachelor's thesis is the research of autonomous vehicles and their testing. In the first part, the work focuses on autonomous vehicles and connectivity between them. Subsequently, it deals with testing of autonomous vehicles on proving grounds and testing in real world. The last chapter includes virtual testing and dedicated software.

KEYWORDS

autonomous vehicles, testing, proving ground, virtual testing, software

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NÁGL, Jiří. *Testování autonomních vozidel* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/131824>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 44 s. Vedoucí práce Petr Porteš.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Petra Porteše Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 18. května 2021

.....

Jiří Nágl

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval doc. Ing. Petrovi Portešovi Ph.D. za vedení mé bakalářské práce a za cenné rady a připomínky k mé práci. Dále bych rád poděkoval rodině za podporu během studia i při vypracovávání bakalářské práce.

OBSAH

Úvod	10
1 AUTONOMNÍ VOZIDLA	11
1.1 Stupně automatizace podle SAE (Society of automobile engineers)	11
1.2 Historie	12
1.3 Konektivita a inteligentní dopravní systémy (C-ITS)	13
1.3.1 V2V (Vehicle to Vehicle)	13
1.3.2 V2I (Vehicle to Infrastructure)	13
1.3.3 V2C (Vehicle to Cloud)	14
1.3.4 V2P (Vehicle to Pedestrian)	14
1.3.5 V2X (Vehicle to Everything)	14
1.3.6 C-ROADS Czech Republic	14
2 Testování autonomních vozidel na polygonech	17
2.1 Testovací polygony ve světě	17
2.1.1 AstaZero	17
2.1.2 Applus+ IDIADA	21
2.1.3 GoMentum Station	22
2.1.4 M-City Michigan	23
2.1.5 K-City Jižní Korea	23
2.1.6 Almono Pittsburgh	24
2.2 Testovací polygony v ČR	25
2.2.1 Testovací polygon u Stříbra	25
2.2.2 Testovací polygon BMW u Sokolova	26
2.2.3 Testovací polygon Milovice	26
3 Testování autonomních vozidel v reálném provozu	28
3.1 Česká republika	28
3.1.1 Katalog testovacích oblastí pro autonomní vozidla	29
3.2 Mimo Českou republiku	30
3.2.1 Waymo	30
3.2.2 Tesla Motors	31
4 Virtuální testování a softwarové nástroje	32
4.1 Virtual Test Drive (VTD)	32
4.2 Siemens Active Safety System Simulation	34
4.3 Ansys	35
Závěr	39
Seznam použitých zkratk a symbolů	44

Úvod

Na vývoji autonomních vozidel se podílejí téměř všechny velké automobilky. Podle některých odborníků přijde doba, kdy budou autonomní vozidla nedílnou součástí našich životů. Jiní zase tvrdí, že bude muset být za volantem vždy někdo, kdo bude schopen zasáhnout v případě například špatného počasí nebo horší viditelnosti. To přináší otázku jak a kde autonomní vozidla testovat a zda bude připravena potřebná legislativa umožňující vozidlům vyjet do reálného provozu.

Nedávno byla Česká republika průzkumem, který provedla společnost KPMG, zařazena na devatenácté místo z dvaceti pěti, co se týče připravenosti legislativy, technologických inovací a infrastruktury.

Ve srovnání se severem Ameriky je v Evropě testovacích polygonů pro autonomní vozidla minimum. I legislativa je tam k výrobcům automobilů vstřícnější. Americké zákonodárství je o velký krok vpředu před zbytkem světa. Některé státy USA dokonce samostatně vytipovali lokace pro vývoj a testování autonomních vozidel. Upravili také legislativu, která takový vývoj a testování umožní.

Poměrně důležitou událostí pro nasazování autonomních vozidel byla dopravní nehoda testovacího vozu společnosti Uber v Arizoně, kde vozidlo v autonomním režimu usmrtilo přecházejícího chodce. Tato událost vyvolala spoustu otázek zejména, zda je vhodné testování těchto automobilů v reálném provozu a kdo bude v budoucnu za případnou nehodu odpovědný.

1 AUTONOMNÍ VOZIDLA

Autonomní vozidlo neboli vozidlo bez řidiče je takové, které je schopno samo sebe ovládat a vykonávat nezbytné funkce bez jakéhokoliv lidského zásahu prostřednictvím schopnosti vnímat své okolí pomocí počítačových systémů. Autonomní vozidlo využívá plně automatizovaný systém řízení, aby vozidlo mohlo reagovat na vnější podmínky, na které člověk běžně reaguje.

Nyní se nacházíme na 2. úrovni autonomního řízení. Přechod na 3. úroveň není prozatím z právního hlediska možná. Avšak systémy spadající pod 4. úroveň autonomního řízení již vyvíjí například český výrobce automobilů Škoda Auto. [1]



Obr. 1 Autonomní vozidlo [2]

1.1 STUPNĚ AUTOMATIZACE PODLE SAE (SOCIETY OF AUTOMOBILE ENGINEERS)

- **Úroveň 0: Žádná automatizace**

Do této skupiny patří většina starších vozů. Řidič má nad vozidlem plnou kontrolu a všechny jízdní úkony provádí sám. Vůz může pouze maximálně vydávat různá upozornění či varování před nebezpečím. Do této kategorie můžeme zahrnout například varování před námrazou nebo rozpoznávání dopravních značek.

- **Úroveň 1: Asistence řidiče**

Jedná se hlavně o pomocné systémy, které se pomocí senzorů či kamer starají o jeden jediný aspekt řízení. Vozidlo může být vybaveno více systémy, avšak ty dohromady nespolečně spolupracují a nejsou vzájemně kombinovány. Typickým příkladem pro úroveň 1 je adaptivní tempomat, což je systém udržující řidičem nastavenou rychlost a vzdálenost od vozidla před ním. Dále sem patří například asistent pro udržování vozidla v jízdním pruhu nebo systém automatického brzdění.

- **Úroveň 2: Částečná automatizace**

Přezdívaná také jako „nohy z pedálu, oči na silnici“. Je to fáze částečně automatizovaného řízení, ve které se dnešní automobily nacházejí. Vozidlo má v podstatě stejné funkce jako o úroveň níže, ale je schopné funkce různě kombinovat. Zvládnou tedy zkombinovat třeba adaptivní tempomat s udržováním vozidla v jízdním pruhu, což je konkrétně asistent pro jízdu v kolonách. Patří sem ale například také parkovací asistent. Člověk je však i nadále zodpovědný za řízení a musí být schopen kdykoli zareagovat a chopit se řízení. Tyto systémy navíc fungují pouze za dobrých podmínek. Za špatného počasí nebo zašpiněných senzorech není na systémy spolehnutí.

- **Úroveň 3: Podmíněná automatizace**

Systém může za určitých podmínek plně převzít kontrolu na vozidlem. Například na široké dálnici s dobře vyznačenými pruhy. Řidič nemusí nijak zasahovat do řízení. Musí být však připraven zareagovat na upozornění systému, aby převzal řízení. V dnešní době jsou některé automobily pouze připravené pro úroveň 3. Na jejich použití v běžném provozu však není připravena potřebná legislativa. Dalším problémem je také etika. Kdo ponese odpovědnost za případnou nehodu.

- **Úroveň 4: Vysoká automatizace**

V tomto případě bude možné vozidlo řídit, už to ale nebude potřeba. Až na výjimky jako je například husté pršení nebo sněžení, auto zvládá vše samostatně. V případě, že vyzve člověka k převzetí řízení a on nereaguje, samo bezpečně zastaví vůz.

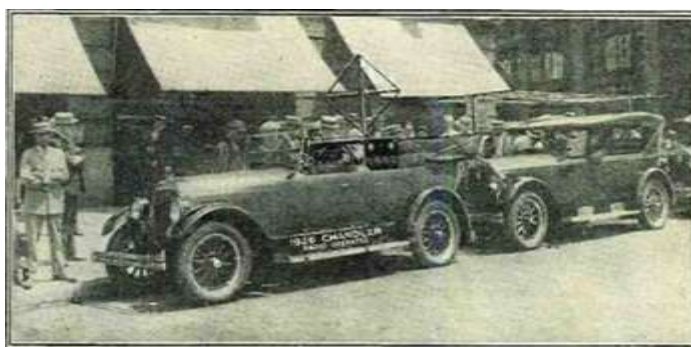
- **Úroveň 5: Plná automatizace**

Při úrovni 5 už vozidlo zvládne úplně všechny jízdní situace na všech silnicích. Řidiče a volantu už tak nebude potřeba. Člověk pouze zadá cílovou destinaci a vozidlo se o zbytek postará. [3] [4] [5]

1.2 HISTORIE

První zmínka o autonomním vozidle je z roku 1925, kde new yorská společnost Houdina Radio Control založená americkým armádním elektroinženýrem Francisem P. Houdinem představila automobil řízený rádiem pod názvem American Wonder. Byl zde použit sériově vyráběný automobil Chandler. K vozidlu byly přidány přenosové antény a malé elektromotory, čímž bylo dosaženo ovládání volantu, pedálů a řazení. Automobil sloužil jako přijímač signálu z doprovodného vozidla, ze kterého bylo ovládáno. Nikdy se však nedostal do sériové výroby, ale je možné říci, že se Houdinovi podařilo překonat hranici úrovně autonomie 1.

Dalším průkopníkem v oblasti autonomních vozidel byl divadelní a průmyslový designér Norman Bel Geddes, který za přispění General Motors vytvořil rádiově řízený automobil a byl představen na světové výstavě v roce 1939. Na rozdíl od Houdina nevyužil k ovládání vysílačku, ale speciální silnici s proměnlivým elektromagnetickým polem. Byl tak prvním automobilem s úrovní autonomie číslo 2.



Obr. 2 Automobil Chandler [7]

V roce 1953 vytvořila společnost Radio Corporation of America (RCA) miniaturu vozu, který se držel na silnici pomocí vodičích drátů, rozmístěných podél silnice. Na tento nápad navázali v roce 1957 společně s General Motors, kdy vznikla experimentální dálnice v Nebrasce. Byl vystavěn 123 metrů dlouhý testovací úsek pro testování této nové technologie.

Během 50. a 60. let společnost General Motors představil svůj Firebirds. [6] [7] [8]

1.3 KONEKTIVITA A INTELIGENTNÍ DOPRAVNÍ SYSTÉMY (C-ITS)

Kooperativní inteligentní dopravní systémy (C-ITS) jsou založené na výměně dat mezi vozidly a stacionárními zařízeními na dopravní infrastruktuře. Mohou využívat komunikaci krátkého dosahu nebo mobilních sítí. [9]

1.3.1 V2V (VEHICLE TO VEHICLE)

Komunikace mezi vozidly, umožňující si vozidlům bezdrátově předávat informace o jejich rychlosti, poloze či směru jízdy. Využívá vyhrazenou komunikaci krátkého dosahu DSRC. Tato technologie umožňuje vozidlům vysílat a přijímat všesměrové zprávy až desetkrát za sekundu, což vytváří představu o ostatních vozidlech v jejich blízkosti. Vozidla vybavená příslušným softwarem mohou určit potenciální hrozby nehody za pomoci zpráv z okolních vozidel. Tyto komunikační zprávy mají dosah více než 300 metrů a mohou detekovat různé nebezpečné situace vzniklé provozem, terénem nebo počasím. Komunikace V2V vylepšuje a rozšiřuje aktuálně dostupné antikolizní systémy, které k detekci hrozeb využívají radary a kamery. Vizí V2V je, že každé vozidlo na silnici, včetně automobilů, nákladních vozidel, tranzitních vozidel a motocyklů, bude schopno komunikovat s jinými vozidly a že tato bohatá sada dat a komunikace bude podporovat novou generaci aplikací aktivní bezpečnosti. [10] [11]

1.3.2 V2I (VEHICLE TO INFRASTRUCTURE)

Jedná se o bezdrátovou výměnu dat mezi vozidly a silniční infrastrukturou a je novou generací inteligentních dopravních systémů (ITS). Komunikace V2I je obvykle bezdrátová a

obousměrná. Podobně jako komunikace mezi vozidly (V2V) používá V2I k přenosu dat DSRC. Jsou zaznamenávány údaje o infrastruktuře a jsou poskytovány řidiči v reálném čase. Jsou to údaje jako podmínky na silnicích, dopravní zácpy, nehody, práce na silnicích nebo dostupnost parkování v dané oblasti. Systém umožňuje i inteligentní časování světelných signálů na semaforech, čímž zajistí lepší plynulost dopravy. [12] [13]

1.3.3 V2C (VEHICLE TO CLOUD)

Komunikace vozidla s cloudovým prostředím a ukládání informací souvisejících s dopravou. Všeobecně je V2C již rozšířeným standardem. Zahrnuje moderní navigační systémy, které vypočítávají optimální trasu podle aktuálních dopravních podmínek. Zahrnuje také možnost vzdálené diagnostiky. [14] [15]

1.3.4 V2P (VEHICLE TO PEDESTRIAN)

Zlepšuje komunikaci mezi vozidlem a chodcem. Vozidlo upozorní účastníky silničního provozu na nebezpečnou situaci popřípadě možnou kolizi díky systému rozpoznávání chodců a varovnému systému. Kromě varování před nebezpečím může poskytnout chodcům také informaci, zda je možné bezpečně přijít vozovku. V2P je určena především ke zvýšení bezpečnosti na silnicích a ochranu chodců. [14]

1.3.5 V2X (VEHICLE TO EVERYTHING)

V2X je komunikace mezi vozidlem a jakoukoli entitou, která jej může ovlivnit nebo jím být ovlivněna. Těmito entitami mohou být další vozidla, chodci, cyklisti a také součásti inteligentní infrastruktury, jako jsou semaforey, železniční přejezdy a značky. Technologie umožňuje vozidlům komunikovat se svým okolím a zajišťuje tím bezpečnější a efektivnější jízdu. Kromě zvýšení bezpečnosti pomáhá V2X optimalizovat tok provozu, omezovat dopravní zácpy a snižovat dopad dopravy na životní prostředí. [16] [17]

1.3.6 C-ROADS CZECH REPUBLIC

Hlavním cílem projektu je zavádění nejnovější technologie založené na přímé komunikaci mezi vozidly nebo vozidly s infrastrukturou. Projekt byl odstartován v únoru 2016 a ukončen v prosinci 2020. Je součástí evropské platformy C-ROAD, jejímž cílem je vytvořit vhodné prostředí pro přeshraniční využití C-ITS a připravit tak prostředí pro nástup autonomních vozidel. Se vzrůstajícím objemem vozidel využívajících systémy ITS se zvýší nároky na přenos dat. Projektu se proto účastní všichni významní telekomunikační firmy v České republice. Projekt C-ROADS Czech Republic oproti dalším evropským projektům je unikátní v tom, že řeší problematiku ITS na zabezpečených železničních přejezdech a dokonce i na nezabezpečených přejezdech meziměstské tramvajové trati Ostrava-Poruba - Kyjovice -

Budišovice. Navíc také řeší problematiku nasazení systémů C-ITS do vozidel městské hromadné dopravy.

V červnu 2021 se na brněnském výstavišti koná akce URBIS SMART CITY FAIR, kde proběhne C-ITS Roadshow a v ulicích města Brna reálné předvedení funkčnosti C-ITS systémů, které jsou výsledkem evropských projektů C-ROADS. [18]

- **Pilotní lokality**



Obr. 3 Vybrané lokality pro C-ROADS [19]

- **DT0**

Rozšíření již existujícího projektu zavádění systémů C-ITS (Mirošovice – Rudná, takzvaný MIRUD) na pražském okruhu D0. Tento úsek je důležitý pro nasazování a ověřování dalších fází projektu (DT1 a DT3). Ředitelství silnic a dálnic zde vybudovalo tzv. C-ITS back office, kde se koordinuje většina dat a jde o centrální projekt celého systému. Data se dále posílají do C-ITS prvků na nižší úrovni nebo do dopravních řídicích center.

- **DT1**

Etapa se týká části dálnice D1 v okolí města Brna. Ředitelství silnic a dálnic společně s mobilními operátory vybaví dané úseky C-ITS technologiemi postavenými na tzv. hybridní komunikaci. Jedná se o kombinaci standardních mobilních sítí (LTE) a technologie podobné WiFi (ITS-G5). Řidičům budou posílány do vozidla informace z proměnného dopravního značení, budou varováni před pracemi na silnicích nebo před stojící kolonou.

- **DT2**

Město Brno. V aglomeraci města Brna jsou řidiči varováni například před blížícím se vozidlem integrovaného záchranného systému nebo před vozidlem, které projíždí křižovatku na červenou. Město tím získá dobrý přehled o aktuální dopravní situaci ve městě.

- **DT3**

Pod úsek DT3 paří dálnice D1, D5, D11, I/52 a D52. Česká republika se tímto napojí na mezinárodní C-ITS koridor, který spojuje města Rotterdam, Frankfurt nad Mohanem a Vídeň.

- **DT4**

Dopravní podniky Ostrava a Plzeň. Společnost INTENS Corporation spolupracuje s dopravními podniky a mobilními operátory a testuje C-ITS systémy pro městskou hromadnou dopravu. Kromě infrastruktury budou ITS jednotkami vybaveny i vozidla MHD.

- **DT5**

Úseky DT5 jsou vyhrazeny pro železniční přejezdy. Správa železnic SŽDC společně s AŽD Praha vybaví dva železniční přejezdy v Pardubickém kraji C-ITS technologiemi. Řidiči, kteří přijíždějí k železničnímu přejezdu, dostanou do vozidla informaci o blížícím se přejezdu a zda je vybaven signalizačním zařízením.

- **DT6**

Přeshraniční testování. Tato etapa má ověřit, zda poskytované služby a vybudované systémy v České republice splňují mezinárodní standardy a jsou vzájemně interoperabilní se systémy v okolních evropských zemích. Přeshraniční testování se týká napojení dálnic D5 a A6 na česko-německé hranici a silnic I/52 a E59 na česko-rakouské hranici. [19]

2 TESTOVÁNÍ AUTONOMNÍCH VOZIDEL NA POLYGONECH

S dalším vývojem automatizovaného řízení a autonomních vozidel nastává očekávání, že tyto technologie budou řádně otestovány, aby se zajistila celková bezpečnost, jak z hlediska bezpečnosti na silnicích, tak z hlediska kybernetiky. [20]

2.1 TESTOVACÍ POLYGONY VE SVĚTĚ

2.1.1 ASTAZERO

AstaZero je celosvětově první plně vybavený testovací komplex pro testování budoucích systémů zvyšujících bezpečnost automobilové dopravy. Nachází se nedaleko centrály společnosti Volvo v západním Švédsku u města Göksholmen. Areál je jedinečný v tom, že umožňuje testovat vyspělé bezpečnostní systémy a jejich funkce pro všechny druhy provozu a dopravní situace. Tato možnost umožňuje vývoj a certifikaci budoucích systémů pro bezpečnost silničního provozu a funguje jako mezinárodní polygon pro výrobce vozidel z celého světa. Hlavní velkou výhodou areálu je jeho flexibilita. Lze zde nasimulovat všechny typy reálných scénářů dopravních nehod. Trať zahrnuje venkovskou silnici, městské prostředí, široký vícepruh, vysokorychlostní úsek a vícepruhovou silnici.



Obr. 4 Testovací polygon AstaZero [21]

Z důvodu nevhodného švédského podnebí, častých dešťů a tmy se společnost AstaZero rozhodla vybudovat nejdelší a největší halovou dráhu na světě. Trať by měla měřit 700 metrů, široká 40 metrů, s centrální částí 140 metrů. Aby mohla dráha pojmout i nákladní automobily a autobusy výška stropu bude 4,6 metru. [21]

- **Venkovská silnice (rural road)**

Tento úsek je speciálně navržen pro testování chování řidiče na cestě plné různých náhodných překážek, kde současně s monotónním prostředím řidič snáze ztrácí koncentraci.

Úsek je dlouhý přibližně 5,7 kilometru. Polovina je navržena na rychlost 70 km/h a druhá polovina na 90 km/h. Na několika místech rostou křoviny nebo listnaté stromy, kde se překážky schovávají, než se objeví v cestě testovaného vozidla. K dispozici jsou také dvě křižovatky a křižovatka, která bude možná upravit podle přání zákazníka, který vozidlo testuje. Terén je zde mírně kopcovitý s maximálním sklonem 4,5%. Provoz je obousměrný. [21]



Obr. 5 Test zastavení vozidla před zvěří [21]

- **Městské prostředí (City Area)**

Městská část se používá primárně pro testování, zda je vozidlo schopno komunikovat s okolním prostředím, aby nedošlo ke střetu s autobusy, cyklisty, chodci nebo s jinými účastníky silničního provozu.



Obr. 6 Úsek simulující městské prostředí [21]

Městská oblast se skládá ze čtyř bloků, které zahrnují více podoblastí jako například centrum města s různými šířkami ulic, zastávky autobusů, chodníky apod. Dále různé druhy křižovatek jako třeba T-křižovatka nebo kruhový objezd. Každý blok měří přibližně 40 x 25 metrů. Oblast je vybavena běžným pouličním osvětlením, které lze vypínat po jednotlivých částech. [21]

- **Široký vícepruh (Super Multilane)**

Délka okruhu je 700 metrů. Šířka jedné cesty je 13 metrů a druhé 15 metrů. Uprostřed je nasimulovaný příkop o šířce 10 metrů, který poskytuje možnost pro testování detekce hrany vozovky.



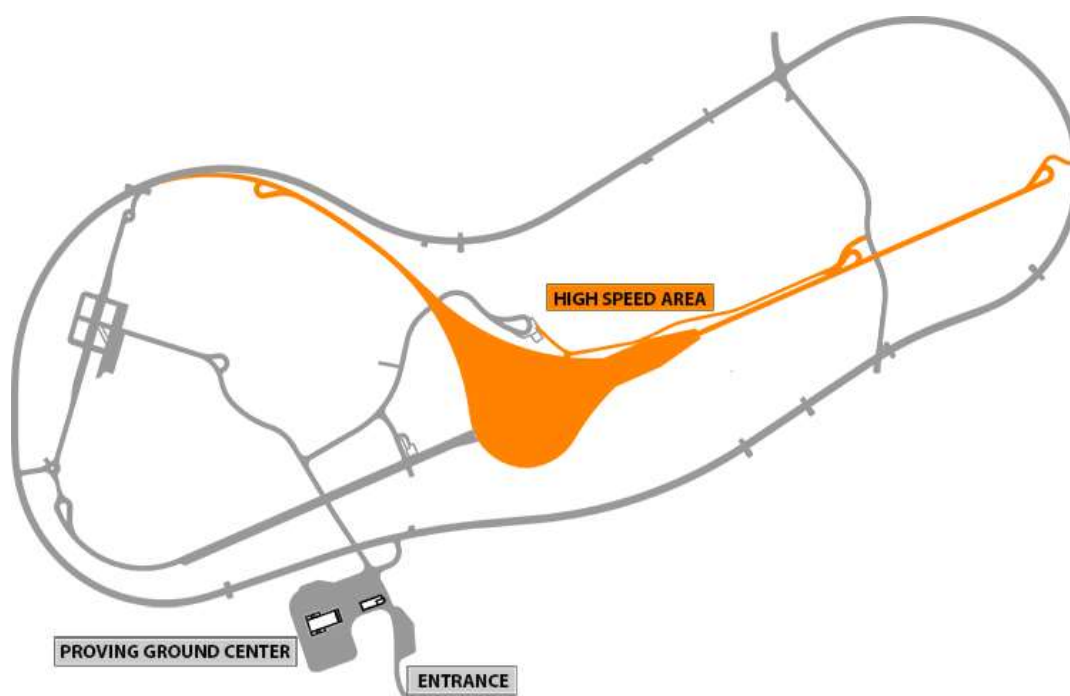
Obr. 7 Široký vícepruh [21]

Křižovatka uprostřed je určena pro testovací scénáře protínajícím provozem s rychlostí maximálně 60 km/h (chodci, cyklisti, vozidla). [21]

- **Vysokorychlostní úsek (High Speed Area)**

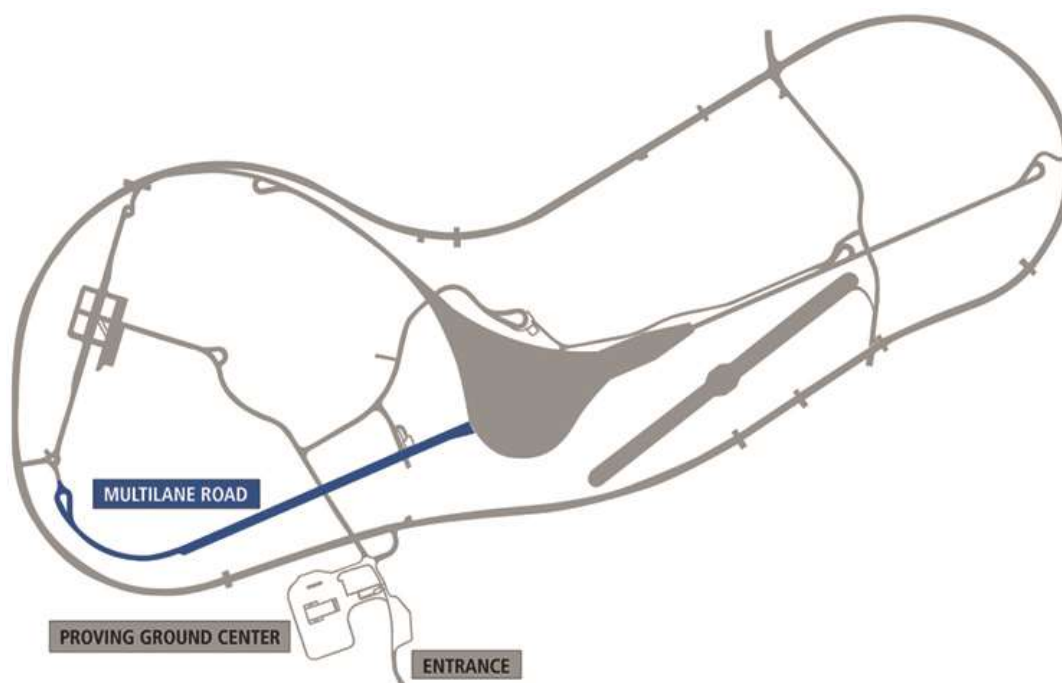
V oblasti s vysokými rychlostmi lze provádět řadu vyhýbacích a manévrovacích testů při velmi vysoké rychlosti.

Vysokorychlostní oblast je spojena s vícepruhovým úsekem (Multiline road) a skládá se z okruhu o průměru 240 metrů a přídatných modulů. Má dvě akcelerační silnice, kde každá měří přibližně 1 kilometr. Pro zrychlení je možné využít také vícepruhový úsek. [21]



Obr. 8 Vysokorychlostní úsek [21]

- **Vícepruhový úsek (Multiline road)**



Obr. 9 Vícepruhový úsek [21]

Na trati lze otestovat několik scénářů jako například změnu jízdního pruhu nebo různé kolize vozidel.

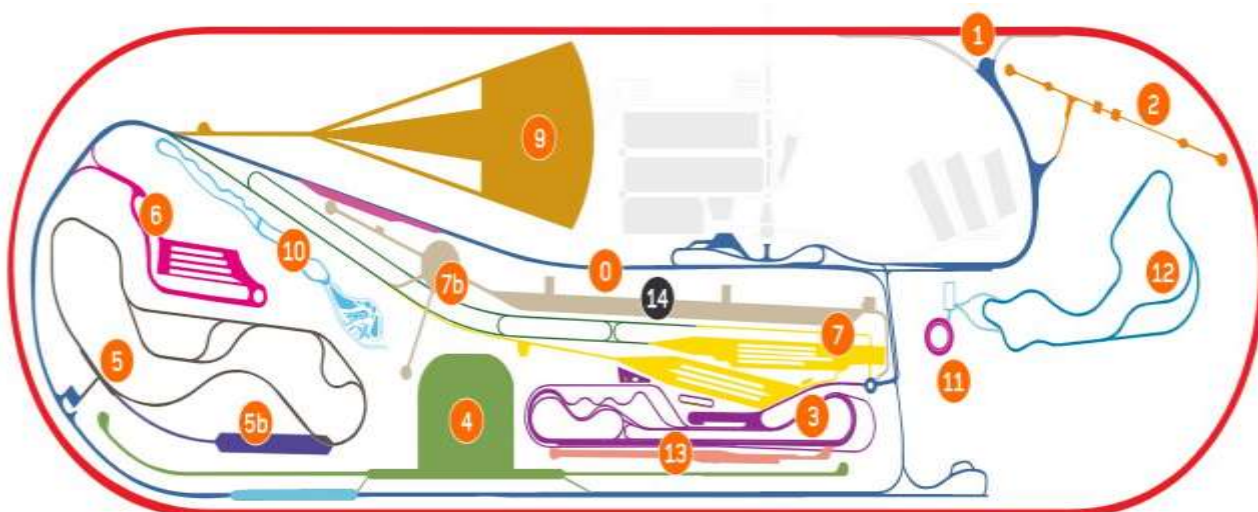
Trat' má délku 700 metrů a je napojena na vysokorychlostní úsek (High Speed Area). Celá oblast je osvětlena běžným osvětlením silnic a je navrženo ve čtyřech sekcích, které lze různě zapínat a vypínat, takže lze snad měnit mezi osvětleným a neosvětleným prostředím. [21]

2.1.2 APPLUS+ IDIADA

Testovací dráha založená v roce 1994 považována za jednu z nejlepších v Evropě. Nachází se ve Španělsku poblíž Barcelony a zahrnuje komplex pozemků a testovacích drah o rozloze 370 hektarů. Nabízí nejvyšší úroveň zákaznické podpory společně s prvotřídními testovacími drahami. Dále kompletní služby pro testování systémů ADAS (pokročilé asistenční systémy pro řidiče) během celého cyklu vývoje vozidla, až po jeho validaci. [22]

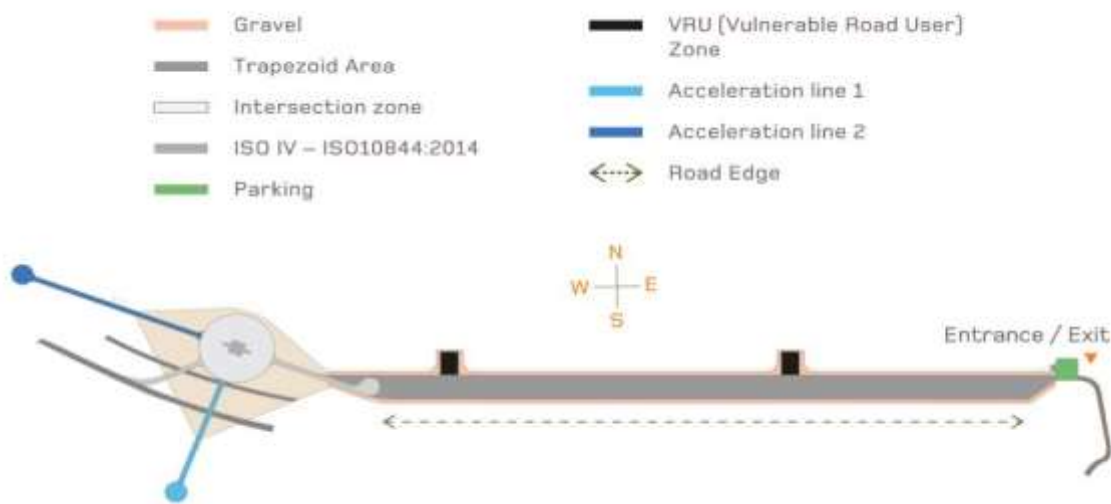
Skládá se z 15 testovacích drah:

- | | |
|--|--------------------------------|
| 0 Hlavní silnice | 7b Komfortní povrchy B a město |
| 1 Vysokorychlostní okruh | 9 Dynamická platforma B |
| 2 Testování hlučnosti vozidel | 10 Off road úsek |
| 3 Únavová trať A / Komfortní povrchy A | 11 Mokrá kruh |
| 4 Dynamická platforma A | 12 Mokrá manipulační okruh |
| 5 Suchý manipulační okruh | 13 Úsek nesprávného používání |
| 6 Testovací kopce | 14 Testování systémů ADAS |
| 7 Testování brzd | |



Obr. 10 Plánek areálu [22]

Dráha pro testování systémů ADAS:



Obr. 11 Plánek testovací dráhy systémů ADAS [22]

2.1.3 GoMentum Station



Obr. 12 Plánek areálu [23]

GoMentum Station je největší testovací zařízení pro autonomní vozidla a technologie v USA nacházející se ve městě Concord asi 56 kilometrů od San Francisca. Vlastní a provozuje ho společnost AAA Severní Kalifornie, Nevada a Utah, jejímž cílem je přizpůsobit se rychle se měnícímu prostředí mobility se zaměřením na bezpečnost provozu.

Komplex o rozloze téměř 850 hektaru je centrem špičkového dopravního výzkumu. [23]

2.1.4 M-CITY MICHIGAN

M-City je simulované městské a příměstské prostředí o rozloze 13 hektarů. Nachází se ve městě Ann Arbor u Michiganské univerzity. Obsahuje síť silnic s křižovatkami, dopravními značkami a semaforey, pouliční osvětlení, budovy, chodníky a případné práce na silnici. M-City umožní vědcům zejména simulovat prostředí, která budou pro autonomní vozidla náročnější. Do testovací dráhy byly začleněny i drobné detaily, s nimiž se může vozidlo v městském prostředí setkat. Jedná se například o dopravní značky znehodnocené graffiti nebo vybledlé čáry oddělující jízdní pruhy.

Areál je k dispozici pro všechny organizace, ale přednost budou mít partneři MTC (Mobility Transformation Center) a Michiganská univerzita.

První, kdo zde svůj automobil testoval, byla automobilka Ford. [24] [25]



Obr. 13 Simulované městské prostředí M-City [24]

2.1.5 K-CITY JIŽNÍ KOREA

Jedná se o neobydlené město o ploše 320 000 m² otevřené v roce 2018 pro testování autonomních vozidel na základě mobilních sítí 5G. Nachází se u korejského úřadu pro bezpečnost dopravy v Hwaseongu, jihozápadně od Soulu.



Obr. 14 Plánek areálu [26]

Skládá se z pěti hlavních testovacích prostředí, jako jsou dálnice, ulice v centru města, předměstská silnice, parkoviště a komunální zařízení.

V březnu 2018 sestavilo celkem 188 společností včetně Hyundai Motor Group, Samsung Electronics a SK Telecom konzultační výbor pro vývoj autonomních vozidel a očekává se, že zde budou testovat svá vozidla a technologie. [27]

2.1.6 ALMONO PITTSBURGH



Obr. 15 Testovací areál Almono [28]

Nachází se na místě staré ocelárny na řece Monongahela v Hazelwoodu v Pensylvánii. Jedná se o uměle vybudované městečko, které vlastní společnost Uber. Rozkládá se na 17 hektarech, ale Uber již požádal o rozšíření tohoto areálu.

Má velký kruhový objezd, falešná auta a figuríny, které bez varování kdykoli vyskočí do silnice.

Provozovatelé vozidel nejprve vyzkoušejí testovací dráhu Almono a poté sledují vozy v reálném provozu v centru Pittsburghu. Stejně jako provozovatelé vozidel i vozy Uber neopouštějí testovací dráhu, dokud úspěšně neprošly určitými testy, jako je například brzdění před vystřelenou figurínou. [28] [29]

2.2 TESTOVACÍ POLYGONY V ČR

2.2.1 TESTOVACÍ POLYGON U STŘÍBRA

Do roku 2022 by měl stát u západočeského Stříbra nový český polygon pro testování a certifikaci autonomních vozidel. Projekt na ploše 465 hektarů připravuje česká investiční skupina Accolade a náklady na vybudování se očekávají v jednotkách miliard korun. Společnost Accolade chce tímto zabránit odchodu talentů a odlivu peněz na výzkum a vývoj do zemí, které nabízejí lepší zázemí. Do České republiky polygon přiláká špičky automobilových vývojářů nejen z Evropy.



Obr. 16 Plánek areálu [30]

Polygony na kterých se v současné době v zahraničí testuje, jsou uzpůsobena spíše městům typu New York, kde se ulice kříží výhradně v pravém úhlu. Systémy testované na těchto polygonech jsou pak v uličkách Lisabonu či Říma úplně ztracené.

Okruh bude kromě městských uliček umět vytvořit i prostředí silnic první třídy, dálnice, okružní silnice či jízdu v tunelu.

Polygon bude připravený testovat technologie, které budou na silnicích dostupné v blízké i vzdálenější budoucnosti. Bude schopen testovat například neustálou komunikaci vozidel mezi sebou včetně komunikace s městskou infrastrukturou. Na polygonu bude možné dále zkvalitňovat i stávající asistenční technologie, které jsou běžně dostupné už nyní. Příkladem je čtení dopravních značek, adaptivní tempomat nebo detekce překážek na silnici. [30]

2.2.2 TESTOVACÍ POLYGON BMW U SOKOLOVA

Na Podkrušnohorské výsypce u Sokolova začíná s výstavbou testovacího polygonu společnost BMW Group. Nové vývojové centrum poskytne práci několika stovek lidí a bude tvořit komplex okruhů pro testování a vývoj nových technologií v dopravě. Tento testovací okruh bude jedním z největších a nejmodernějších v Evropě. Celkem vznikne 16 různých zkušebních drah o celkové délce přes 100 kilometrů. Jedná se o typy povrchů simulující dálnice, vícepruhé silnice, městský provoz, parkoviště, tunely a také nezpevněné komunikace a úseky v kopcovitém terénu. Na území o rozloze 650 hektarů vzniknou také administrativní a provozní budovy, dílny, sklady a další potřebná infrastruktura pro provoz komplexu. Zprovoznění je plánováno na rok 2022. [31] [32]



Obr. 17 Polygon BMW [31]

2.2.3 TESTOVACÍ POLYGON MILOVICE

Na bývalém letišti Boží Dar v Milovicích postaví firma Valeo polygon pro testování autonomních vozidel a asistenčních systémů. Valeo je jedním z největších zaměstnavatelů v automobilovém průmyslu v České republice. Testuje zde již od roku 2018 a podepsala se

Středočeským krajem smlouva na dalších 20 let a chystá zde investice v hodnotě nejméně sto milionů korun. Stávající smlouva je platná do srpna roku 2023. Následně začne platit smlouva nová a do té doby musí být nové stavby na polygonu zkolaudovány. [33]

Společnost již zmodernizovala v rámci původní smlouvy zázemí ro testování autonomních technologií. Vybudovala testovací plochu pro automatizované parkování. Opravila také bývalou ranvej a pojezdové dráhy, které nyní slouží pro testování různých situací ve vysokých rychlostech.

Následně plánuje vybudovat kancelářské zázemí pro testovací inženýry dále zázemí pro přestavbu a opravu testovaných vozidel a kalibraci senzorů. Vzniknou i nové asfaltové plochy pro testování dalších scénářů, plochy pro simulaci povrchů s různou přilnavostí a strukturou.

Nyní se nejvíce technici zabývají testováním systémů aktivní bezpečnosti, kam patří například adaptivní tempomat, autonomní nouzové brždění udržování vozidla v jízdním pruhu, když na řidiče dolehne mikrosnánek. [33]

Valeo zde také spolupracuje s Technickou univerzitou v Ostravě a spolupracují společně na testování prvního automobilu s takzvaným Drive-by-Wire řízením. Jedná se o použití elektrických nebo elektromechanických systémů k provádění funkcí vozidla, které dosud byly prováděny za pomoci mechanických vazeb. [34]

3 TESTOVÁNÍ AUTONOMNÍCH VOZIDEL V REÁLNÉM PROVOZU

V budoucnu se předpokládá pohyb autonomních vozidel po celé silniční síti od dálnic až po území obcí. Velká rozsáhlost silniční a dálniční sítě neumožní provozovat autonomní vozidla na celé síti najednou. Je nezbytné postupovat v jednotlivých krocích, a to dle stupně jejich automatizace.

Klíčové faktory ovlivňující využití sítě pozemních komunikací:

- Rychlost, kterou mohou autonomní vozidla jet
- Bezpečnostní a technické vybavení komunikace
- Riziko srážky s jinými vozidly nebo účastníky silničního provozu
- Technologické vybavení pro komunikaci mezi vozidly
- Připravenost řízení silničního provozu
- Technický stav vozovek
- Vnější vlivy (počasí negativně ovlivňující funkci autonomního vozidla

Při postupném nasazování autonomních nákladních vozidel bude nejdříve použita aplikace „platooning“, která umožňuje koordinovanou jízdu datově propojených nákladních vozidel v konvojích s minimálními rozestupy.

U osobních vozidel budou nejprve nasazena do běžného provozu vozidla s úrovní automatizace 3. Prozatím se předpokládá pohyb těchto vozidel po dálnicích z důvodu bez úrovňového křížení, směrově oddělených jízdních pásů, lepšího vybavení ITS technologiemi a pokrytí mobilními telekomunikačními technologiemi.

Ve městech je výrazná tendence nasazovat autonomní TAXI nebo elektrické minibusy bez řidiče známé například ze švýcarského Sionu (Smart Shuttle), německého Berlína (Olli), rakouského Salzburgu (AutonomerMinibus) nebo Vídně (Selbstfahrenden Bus der Wiener Linien).

Podpora autonomní mobility částečně vypovídá o úrovni vyspělosti jednotlivých států. V tomto směru je Česká republika dlouhodobě aktivní a přispívá k jeho rozvoji. V současné době existuje národní Katalog testovacích oblastí pro autonomní vozidla v běžném silničním provozu. [35] [36]

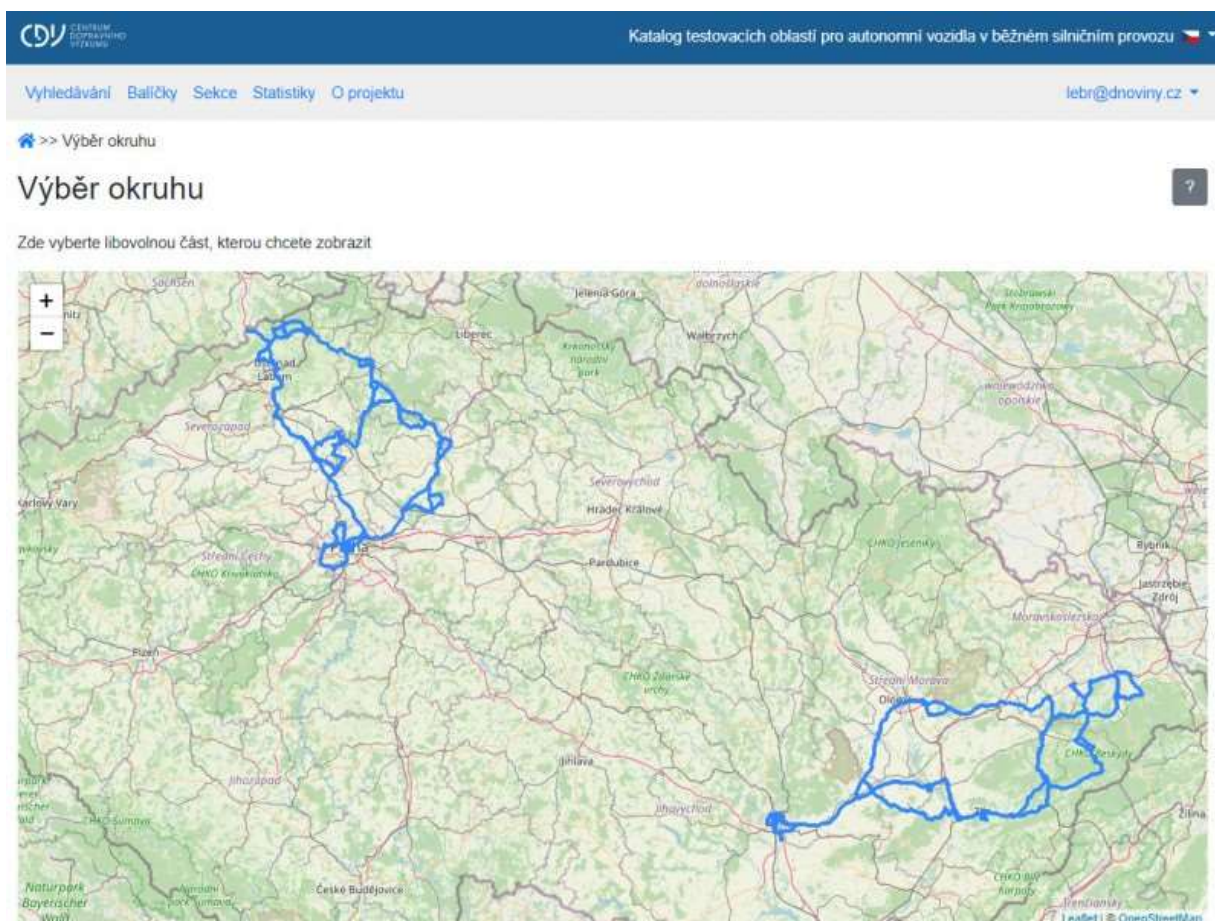
3.1 ČESKÁ REPUBLIKA

Centrum dopravního výzkumu s Ministerstvem dopravy a Státním fondem dopravní infrastruktury vytvořilo Katalog testovacích oblastí, který přispívá k vytvoření atraktivního prostředí pro vývoj, výzkum a testování autonomních vozidel v České republice. [36]

3.1.1 KATALOG TETOVACÍCH OBLASTÍ PRO AUTONOMNÍ VOZIDLA

Je dostupný od 4. května 2020 jako webová aplikace a je svým rozsahem i podobou světovým unikátem. Významně usnadňuje práci profesím činným v autonomní dopravě, neboť poskytuje detailní informace o konkrétních úsecích české silniční a dálniční sítě. [36]

Katalog je rozdělen na dvě testovací oblasti o celkové délce přes 1500 kilometrů. Jedna se nachází v česku a druhá na Moravě a ve Slezsku. [37]



Obr. 18 Testovací úseky [36]

Obsahuje databázi úseků, vybraných důkladnou analýzou potřeb autonomních vozidel. Umožňuje snadné filtrování zájmových sekcí pomocí předem definovaných balíčků, které zohledňují typ testování nebo pomocí vyhledávání dle vlastních parametrů. Uživatel může provést výběr i přímo z interaktivní mapy. Po zadání zvolených parametrů se zobrazí seznam všech úseků, které splňují daná kritéria a lze si je prohlédnout do nejmenších detailů. Zahrnuje videozáznam natočený během průjezdu daným úsekem, pohyblivou mapu s přesnou polohou, výpis hlavních prvků infrastruktury s časovou osou a další údaje ovlivňující testování jako průběh nadmořské výšky, index nehodovosti nebo jak kvalitně je daný úsek pokrytý bezdrátovou sítí.

Přístup do aplikace je umožněn všem, kteří se zaregistrují, a je zdarma. Jedinou podmínkou pro užívání aplikace je zpětná vazba pomocí přednastavených formulářů.

Celý projekt byl iniciován Ministerstvem dopravy a financován Státním fondem dopravní infrastruktury. Dále se na něm podílelo Centrum dopravního výzkumu a společnosti jako O2 Czech Republic, TÜV SÜD Czech, Roboauto a ČVUT v Praze. [36]

3.2 MIMO ČESKOU REPUBLIKU

3.2.1 WAYMO

Waymo je americká společnost zabývající se vývojem a testováním autonomních vozidel a patří mateřské společnosti Google.

V roce 2015 vyzkoušeli první zkušební jízdu v reálném provozu. Zkouška se konala v automobilu Firefly od společnosti Google v texaském Austinu.

Následně v roce 2017 byly vozy Firefly vyměněny za sériově vyráběné vozy Chrysler Pacifica. Jde o běžný minivan, který pojme více lidí a lze s ním jet mnohem rychleji než s vozy Firefly. Hlavním důvodem je fakt, že Google již nechťel vyvíjet svá vlastní auta a raději přestavuje ty sériově vyráběná. [38]

O rok později byl zahájen v Arizoně provoz první komerční autonomní TAXI služby na světě. Podle statistiky, která se prováděla po dobu 21 měsíců provozu tj. od ledna 2019 do září 2020, tak flotila zhruba tři set autonomních vozidel TAXI absolvovala na veřejných komunikacích celkem 9,8 milionu kilometrů z toho asi 104 tisíc najely bez jakéhokoli operátora na palubě. Z celkového počtu najetých kilometrů došlo k 18 nehodám a 29 nehodám, kterým bylo včas zabráněno bezpečnostním řidičem. Žádný střed si však nevyžádal žádná vážná zranění. [39]



Obr. 19 Autonomní TAXI služba Waymo [39]

3.2.2 TESLA MOTORS

U zrodu společnosti Tesla Motors stáli v roce 2003 Martin Eberhart a Marc Tarpenning, ke kterým se později přidal i Elon Musk. V říjnu 2014 Elon Musk na tiskové konferenci představil novou evoluci modelu S, která byla vybavena systémem autonomního řízení nesoucím název „Autopilot“. [40]

Technologie Autopilot využívá 12 ultrazvukových senzorů, přední kameru s vysokým rozlišením, radar a GPS modul. Výhoda autonomních systémů společnosti Tesla Motors je ve sto tisících vyrobených automobilech Tesla Model S, které sbírají data o ujetých trasách a vytvářejí detailní mapy, které jsou následně dispozici všem uživatelům služby Autopilot. Nashromážděná data jsou pak shromažďována v tzv. „Tesla cloudu“.

Od začátku prodeje Modelu S najezdily vozy přes 320 milionu kilometrů se spuštěným systémem Autopilot. Systém Autopilot verze 8.0 je prezentován jako systém splňující pátý stupeň automatizace avšak společnost stejně majitele vozů informuje, že při používání této funkce musí dávat pozor a musí být schopni kdykoli převzít kontrolu nad vozem. Dále nedoporučuje tento systém používat ve městech, na místech, kde se neustále mění dopravní situace, za nevhodného počasí, na klikatých silnicích s ostrými zatáčkami nebo na kluzkém povrchu.

Systém Autopilot se v současné době potýká s kritikou veřejnosti, která souvisí s řadou incidentů a zejména s jedním, který skončil smrtí řidiče automobilu Tesla. Většina incidentů pramenila z nepozornosti řidiče v momentě, kdy se vozidlo dostalo do situace, kterou nebylo schopno vyhodnotit nebo ji vyhodnotilo špatně. Dále je systém kritizován z důvodu názvu „Autopilot“, který je zavádějící. Dává řidičům falešná očekávání o schopnostech automobilu a může budit dojem, že se automobil o vše postará sám. [41]



Obr. 20 Tesla Model S [40]

4 VIRTUÁLNÍ TESTOVÁNÍ A SOFTWARE NÁSTROJE

Autonomní vozidla vyžadují testování v široké škále scénářů. Najetí potřebného počtu kilometrů ve skutečném silničním provozu je však časově a finančně velmi náročné. Navíc setkání se vzácnými a nebezpečnými scénáři je velmi ojedinělé.

Virtuální testování vozidel používá software a matematické modely k simulaci tisíců různých scénářů, což zajišťuje vysokou bezpečnost a usnadňuje vývojářům postupné nasazování autonomních vozidel do reálného provozu. [42]

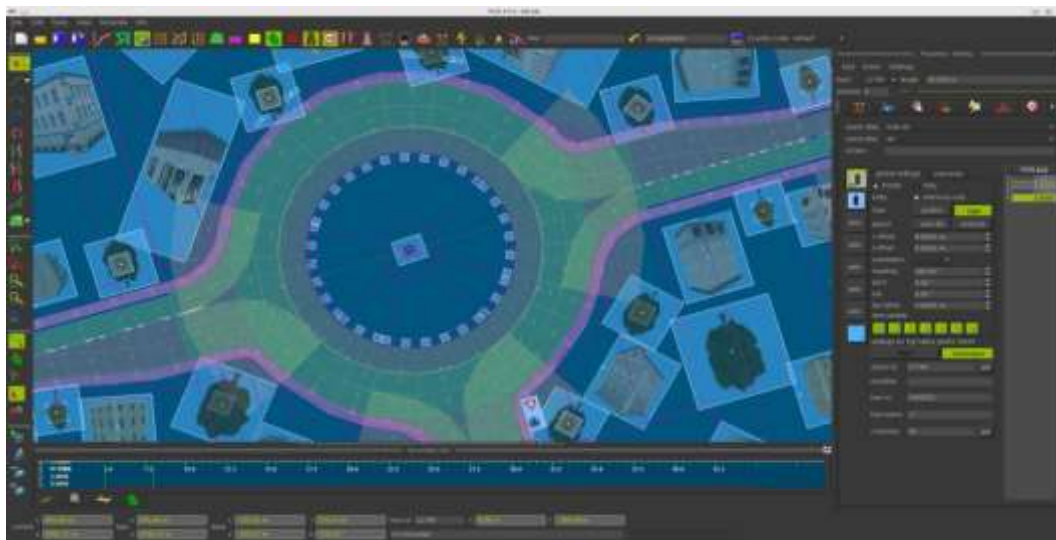
Existují dva typy simulací:

- V prvním typu simulace se vše odehrává na obrazovkách počítačů. Nefigurují zde tedy žádná reálná vozidla. Vývojáři pouze nastaví požadované podmínky, spustí simulaci a sledují, jak se vozidlo chová.
- U druhého typu simulace se používají data, která se získávají testováním skutečných vozidel. Senzory vozidla zaznamenávají údaje a ty se následně použijí pro virtuální vozidla. [43]

4.1 VIRTUAL TEST DRIVE (VTD)

VTD je sada nástrojů od firmy Vires pro vytváření konfigurací a hodnocení virtuálního prostředí v rámci simulací na silnicích nebo železnicích. Je určen také pro vývoj a testování systémů ADAS a automatizovaných řídicích systémů. Obsahuje celou řadu funkcí od generování 3D obsahu až po simulaci složitých provozních scénářů. Umožňuje také MiL, SiL, HiL, DiL a ViL testování. [44]

- Vytváření virtuálních světů



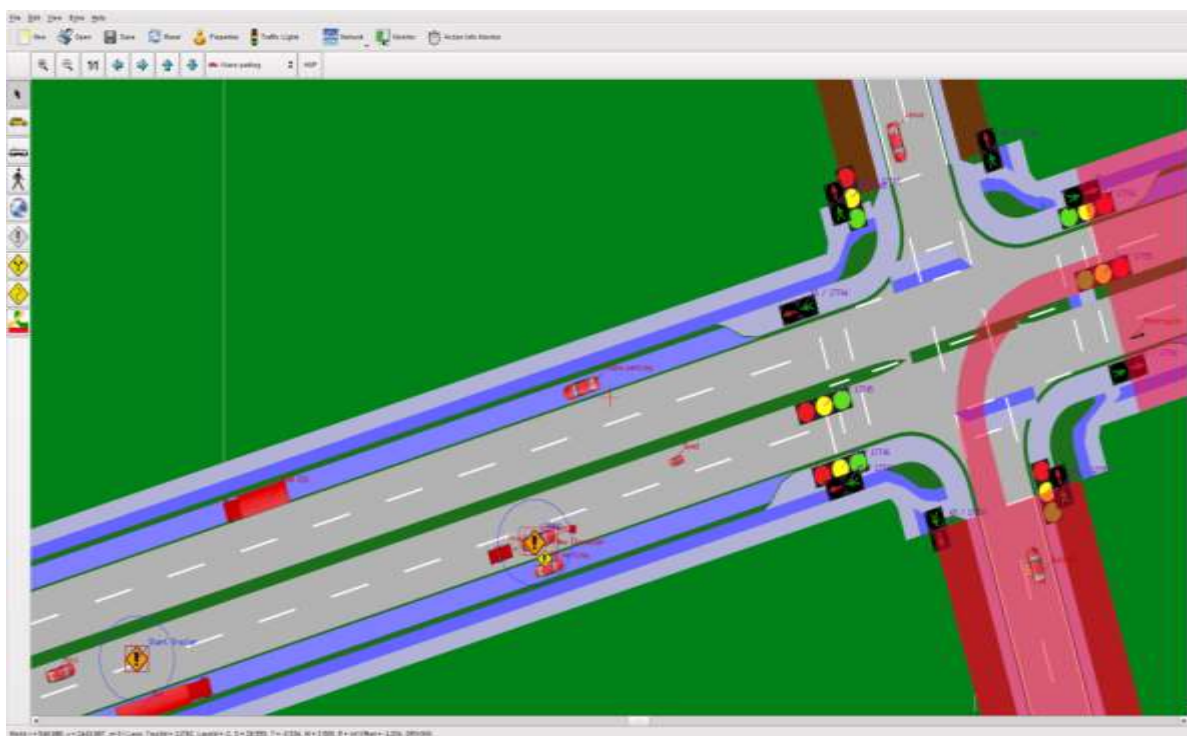
Obr. 21 VTD – vytváření virtuálních světů [44]

Interaktivní editor silniční sítě umožní uživateli detailně navrhout silniční či železniční síť se značkami a světelnou signalizací, složitými křižovatkami a neomezeným počtem jízdních pruhů.

Navrhovat lze virtuální svět úplně od začátku nebo je jej možno vybírat z již existujících databází. Celý proces vytváření virtuálního světa urychluje velké množství podporovaných formátů pro import i velká knihovna 3D modelů. [44]

- **Konfigurace virtuálních světů**

Pomocí interaktivního editoru scénářů lze definovat dynamický obsah simulace. Umožňuje uživateli specifikovat intenzitu dopravy na jednotlivé objekty a na autonomní oblasti kolem klíčových entit. Je zde také podpora pro pravostranné i levostranné řízení. Velká databáze chodců, vozidel a dokonce i vlastností řidičů je individuálně přizpůsobitelná nejrozličnějším požadavkům. Několika jednoduchými kroky může uživatel definovat cesty pro jednotlivé entity, umisťovat a přidávat různé objekty nebo konfigurovat řízení světelné signalizace. [44]



Obr. 22 VTD – konfigurace virtuálních světů [44]

- **Simulace virtuálních světů**

Během fáze simulace je umožněno uživateli monitorování a vkládání příkazů v reálném čase. Nad simulací je možno převzít kdykoliv plnou kontrolu a zadávat různé časové úseky. Do softwaru lze vložit libovolný počet externě vypočítaných entit a spouštět více simulací najednou. Virtual Test Drive je možné spouštět jak na jednom počítači, tak v HPC prostředí (vysokovýkonné výpočetní prostředí). [44]



Obr. 23 VTD – simulace virtuálních světů [44]

4.2 SIEMENS ACTIVE SAFETY SYSTEM SIMULATION

Software dokazuje spolehlivost a bezpečnost autonomních systémů za pomoci dokonalé simulační platformy, která je založena na složitých matematických a fyzikálních výpočtech a umožňuje důkladné testování autonomních vozidel. Systematicky napomáhá vývojářům testovat, vyvíjet a optimalizovat autonomní systémy. Tím je celkově posílena produktivita systémového inženýrství a to již od raného výzkumu a vývoje až po závěrečnou certifikaci a homologaci autonomních vozidel.

Obsahuje značně obsáhlé knihovny scénářů, modelů a senzorů, které umožňují rychlé vyhodnocení každé části testu. Inženýři mohou snadno provádět studie autonomního řízení a tím určovat optimální konfiguraci senzorů pro vozidla a vyvíjet asistenční systémy řízení. [45]

- **Dlouhodobé testování**

K přípravě funkcí autonomních vozidel na reálný provoz nestačí pouze najetí milionů dálničních kilometrů. Vývojový inženýři potřebují možnost zátěžově testovat automatizované algoritmy řízení a to nejen za normálních podmínek, ale hlavně v okrajových případech. Software Active Safety System Simulation vše zmíněné umožňuje. Lze tedy najíždět miliony virtuálních kilometrů, testovat mnoho nejrozumnějších scénářů, měnit simulační parametry jako je počasí, parametry vozidla a senzorů a mnoho dalších. [45]

- **Generování scénářů**

Lze využít obrovskou databázi vozidel, silnic, komponentů infrastruktury, počasí a světelných zdrojů. Inženýři mohou pomocí grafického uživatelského rozhraní vizuálně nebo vytvářet

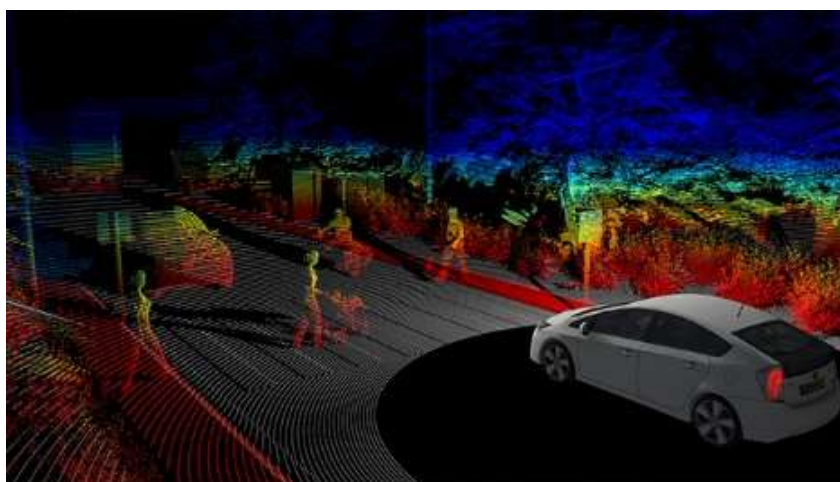


Obr. 24 Siemens – generování scénářů [45]

scénáře, anebo je mohou vytvářet ručně za pomoci programování. Zahrnuje také funkce importu, které napomáhají generovat realistické silnice, chování dopravy a předem určené scénáře. [45]

- **Simulace senzorů**

Databáze softwaru zahrnuje širokou škálu prvotřídních modelů senzorů, které lze v simulacích použít. Zcela podporuje vývojové potřeby nejen dodavatelů automobilových senzorů. Modely senzorů lze v databázi nalézt ve čtyřech kategoriích: pravděpodobnostní modely, podrobné modely, modely senzorů založené na fyzice a senzory pozorující okolní objekty. [45]



Obr. 25 Siemens – simulace senzorů [45]

4.3 ANSYS

Společnost Ansys byla založena v roce 1970 a zaměřuje se na vývoj a prodej simulačních softwarů. Ansys nabízí kompletní sadu specializovaných funkcí pro simulace autonomních

vozidel a vývoj a testování funkcí systémů ADAS. Umožňuje optimalizovat výkon inteligentních jednotek světlometů a senzorů nebo testovat inteligentní systémy za proměnlivého provozu, terénu, světelných podmínek nebo počasí. [46]

Společností Ansys byly vyvinuty tři základní softwary specializované na autonomní vozidla:

- **VRXPERIENCE Driving Simulator**

Lze provádět rozsáhlé varianty scénářů a otevírat více jízdních situací v jedné simulaci. Několikanásobně urychluje vývoj a testování autonomních vozidel ve srovnání s testováním v reálném prostředí.



Obr. 26 Ansys – Driving Simulator[47]

Společnost dokázala začlenit testovací scénáře NCAP (= nezávislé společenství, které provádí nárazové zkoušky automobilů a následně jim uděluje přiřazený počet hvězdiček z hlediska bezpečnosti) z reálného světa i do virtuálního.

- **Klíčové vlastnosti:**

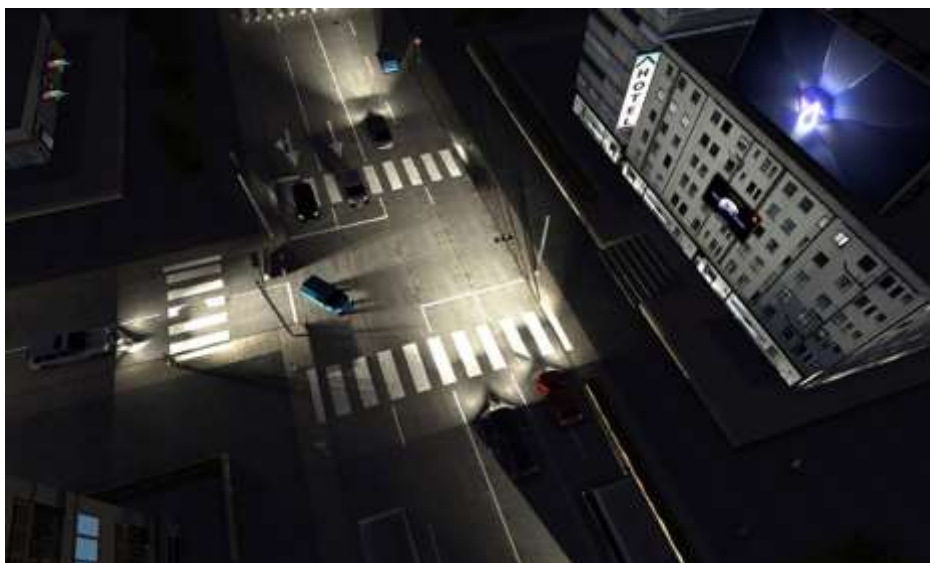
- vytváření vlastních silničních scénářů
- navrhnutí vlastního digitálního vozidla
- provádění testů NCAP
- analýza testovací jízdy
- testování MiL (Model in the loop) a SiL (Software in the loop)
- HiL testování
- DiL testování [47]

- **VRXPERIENCE Headlamp**

Urychluje vývoj inteligentních světlometů. Inženýři zaměřující se na optiku zde otestují design světlometů v kombinaci s jeho ovládacím softwarem ve virtuálním prostředí, které díky optickým vlastnostem a optické simulaci dokonale nahradí reálný svět. Určováním optických vlastností materiálů a šíření světla lze spolehlivě rozhodnout o optickém designu.

- **Klíčové vlastnosti:**

- simulace světlometů
- inteligentní osvětlovací systémy
- posouzení oslňování okolních řidičů
- jízdní scénáře
- virtuální měření [48]



Obr. 27 Ansys – Headlamp [48]

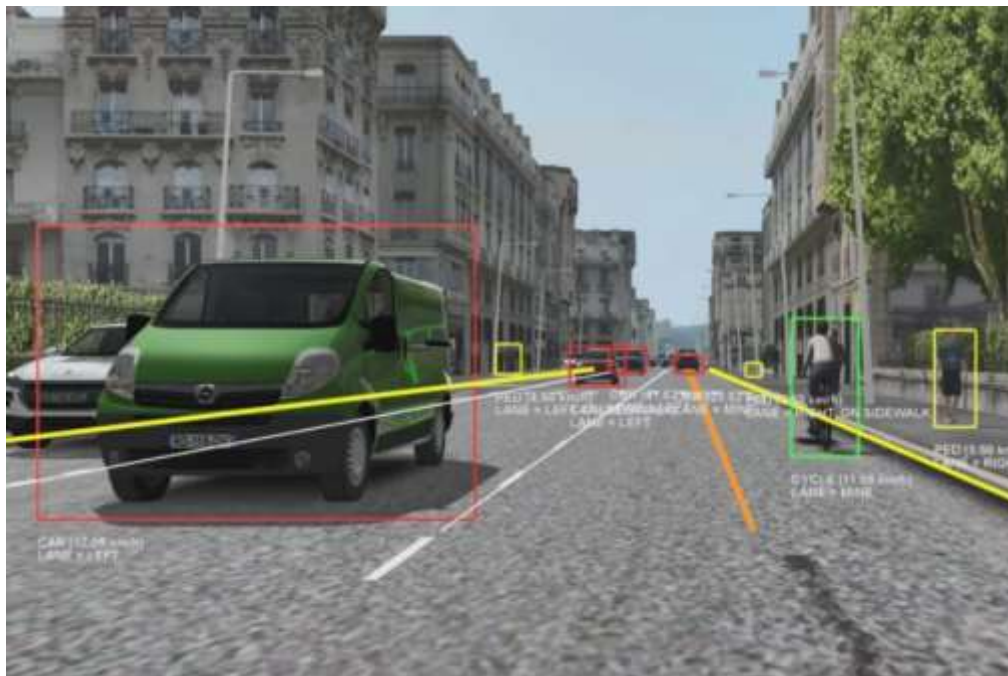
- **VRXPERIENCE Sensors**

Nabízí možnost prakticky vyzkoušet senzory za účelem analýzy a testování jejich výkonu. Eliminuje tím veškerá rizika, která představují pro ostatní řidiče a chodce testy v reálném světě a umožňují posouvat hranice při vývoji senzorů.

- **Klíčové vlastnosti:**

- kamery
- lidary
- radary

- jízdní scénáře
- HiL, SiL a MiL konektivita [49]



Obr. 28 Ansys – Sensors [49]

ZÁVĚR

Výstupem mé bakalářské práce je shrnutí a popis významných českých i světových testovacích polygonů pro autonomní vozidla a testování v reálném provozu. Byly zde vyjmenovány všechny stupně automatizace dle SAE. Dále byly vyjmenovány a popsány kooperativní dopravní systémy C-ITS a projekt C-ROADS Czech Republic, který skončil v prosinci roku 2020 a s jehož výsledky budeme obeznámeni v následujících měsících.

Následně byla kapitola testování autonomních vozidel na polygonech rozdělena na světové polygony a polygony nacházející se v České republice. Z práce je zřejmé, že v jistých státech jsou s testováním autonomních vozidel a jejich uvedením do skutečného provozu mnohem dál než Česká republika. České testovací polygony jsou zatím ve fázi příprav či výstavby a na jejich uvedení do provozu si budeme muset nějaký ten čas počkat. To samé se týká také legislativy a přípravy na uvedení autonomních vozidel do provozu.

Poslední kapitola se věnovala virtuálnímu testování a softwarům, které se k tomu používají. Softwarů pro virtuální testování je spousta a tak jsem vyjmenoval a popsal tři nejznámější softwary pro virtuální testování a vytváření simulací.

Podle mého názoru je cesta k plně autonomním vozidlům konkrétně k jejich jízdě v reálném provozu ještě hodně dlouhá a nikdo zatím netuší, zda vůbec někdy bude možné se bez zásahu člověka do řízení obejít.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] What is an autononous vehicle. *Twí-global* [online]. UK [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-an-autonomous-vehicle>
- [2] Obavy z bezpečnosti autonomních vozidel klesají. *Business Info* [online]. 2020 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://www.businessinfo.cz/clanky/obavy-z-bezpecnosti-autonomnich-vozidel-klesaji-ceska-legislativa-se-na-ne-jiz-zacina-pripravovat/>
- [3] Pět stupňů k autonomnímu řízení. *Škoda Storyboard* [online]. 2018 [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/inovace-a-technologie/pet-stupnu-k-autonomnimu-řízení/>
- [4] Úrovně autonomních aut. *Auto* [online]. 2018 [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/urovne-autonomnich-aut-jaky-je-mezi-nimi-rozdil-a-ktera-faze-je-opravdu-auto-bez-ridice-120259>
- [5] Cesta k plné automatizaci v řízení. *Škoda kariéra* [online]. 2018 [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://www.skoda-kariera.cz/blog/2018-09-27-cesta-k-plne-automatizaci-řízení>
- [6] History of self-driving cars. *Wikipedia* [online]. 2014 [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_self-driving_cars#cite_note-32
- [7] Historie autonomního řízení. *TESLAFAN* [online]. 2018 [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://www.teslafan.cz/clanky/historie-autonomniho-řízení-i-od-dalkoveho-ovladani-k-intelligentnim-silnicim>
- [8] Autonomous Cars Through the Ages. *WIRED* [online]. 2012, 2012 [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://www.wired.com/2012/02/autonomous-vehicle-history/>
- [9] Systémy C-ITS. *C-ROADS Czech Republic* [online]. Praha [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://c-roads.cz/cs/systemy-c-its/>
- [10] Vehicle-to-Vehicle Communication. *NHTSA* [online]. 2018 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/vehicle-vehicle-communication>
- [11] Vehicle-to-Vehicle (V2V) Communications for Safety. *Intelligent Transportation Systems* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: https://www.its.dot.gov/research_archives/safety/v2v_comm_safety.htm
- [12] What is vehicle to infrastructure. *What Is* [online]. 2017 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://whatis.techtarget.com/definition/vehicle-to-infrastructure-V2I-or-V2X>
- [13] Vehicle-to-Infrastructure (V2I). *Intelligent Transportation Systems* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.its.dot.gov/v2i/>
- [14] Connected car. *BMW* [online]. 2020 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.bmw.com/en/innovation/connected-car.html>

- [15] What is V2C Communication. *IGI Global* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.igi-global.com/dictionary/v2c-communication/93065>
- [16] V2X Communications. *NXP* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.nxp.com/applications/automotive/connectivity/v2x-communications:V2X-COMMUNICATIONS>
- [17] Vehicle-to-everything (V2X). *Car rental gateway* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.carrentalgateway.com/glossary/vehicle-to-everything/>
- [18] C-ROADS. *C-ROADS Czech Republic* [online]. [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://c-roads.cz/cs/c-roads/>
- [19] Pilotní lokality. *C-ROADS Czech Republic* [online]. [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://c-roads.cz/cs/c-roads/pilotni-lokality/>
- [20] Autonomous vehicle testing. *TÜV SÜD* [online]. Wakefield [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://www.tuvsud.com/en-us/industries/mobility-and-automotive/automotive-and-oem/autonomous-driving>
- [21] AstaZero. *AstaZero* [online]. Hällered, 2018 [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://www.astazero.com/>
- [22] Test tracks Spain. *Applus+ IDIADA* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.applusidiada.com/global/en/what-we-do/service-sheet/test-tracks?selectedtrack=14#testtrack>
- [23] AV Testing Services. *GoMentum Station* [online]. [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://gomentumstation.net/>
- [24] U-M opens Mcity test environment for connected and driverless vehicles. *University of Michigans News* [online]. 2015 [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://news.umich.edu/u-m-opens-mcity-test-environment-for-connected-and-driverless-vehicles/>
- [25] Ford first automaker to test autonomous vehicle at M-City. *Ford media center* [online]. 2015 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2015/11/13/ford-first-automaker-to-test-autonomous-vehicle-at-mcity.html>
- [26] World's Largest Test Bed for Self-driving Cars to Be Opened in Korea. *Business Korea* [online]. 2017 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <http://www.businesskorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=18018>
- [27] South Korea completes works in K-City autonomous driving testing zone. *Enterprise IoT Insights* [online]. 2018 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://enterpriseiotinsights.com/20181212/connected-cars-2/south-korea-completes-works-kcity-autonomous-driving-testing-zone>

- [28] Uber built a fake city in Pittsburgh. *Business Insider* [online]. 2017 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.businessinsider.com/ubers-fake-city-pittsburgh-self-driving-cars-2017-10>
- [29] Uber Is Testing Its Self-Driving Cars on a Fake City in Pittsburgh. *INC.* [online]. 2017 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.inc.com/business-insider/uber-built-fake-city-pittsburgh-almono-test-self-driving-cars.html>
- [30] Accolade připravuje testovací polygon pro autonomní auta u Stříbra. *Accolade* [online]. 2017 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://accolade.eu/cs/aktuality/45/accolade-pripravuje-testovaci-polygon-pro-autonomni-auta-u-striba>
- [31] Stavba zkušebního polygonu BMW GROUP může začít. *Sokolov* [online]. 2020 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: https://www.sokolov.cz/novinky/aktuality_mu/stavba-zkusebniho-polygonu-bmw-group-muze-zacit-47058
- [32] COLAS is building the road infrastructure for the future mobility development center. *COLAS* [online]. 2020 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.colas.cz/en/newsletter/colas-is-building-the-road-infrastructure-for-the-future-mobility-development-center-in-the-czech-republic/>
- [33] Valeo vybuduje v Milovicích polygon pro testování autonomních aut. *Z dopravy* [online]. 2021 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/valeo-vybuduje-v-milovicich-polygon-pro-testovani-autonomnich-aut-75094/>
- [34] Valeo ve spolupráci s VŠB-TUO vyvíjí auto s řízením drive-by-wire. *Hybrid* [online]. 2021 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/valeo-ve-spolupraci-s-vsbtuo-vyviji-auto-s-rozenim-drive-wire>
- [35] Akční plán autonomního řízení. *AMSP* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: https://amsp.cz/wp-content/uploads/2019/02/Ak%C4%8Dn%C3%AD-pl%C3%A1n-autonomn%C3%ADho-%C5%99%C3%ADzen%C3%AD-ma_KORNB8UGXNR8.pdf
- [36] Vznikl Katalog testovacích oblastí pro autonomní vozidla. *CDV* [online]. Brno, 2020 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.cdv.cz/tisk/vznikl-katalog-testovacich-oblasti-pro-autonomni-vozidla/>
- [37] Vznikl Katalog testovacích oblastí pro autonomní vozidla. *MDCR* [online]. 2020 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Media/Media-a-tiskove-zpravy/Vznikl-Katalog-testovacich-oblasti-pro-autonomni-v>
- [38] Společnost Waymo začala v roce 2009 jako projekt samořídícího automobilu Google. *Waymo* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://waymo.com/>
- [39] Waymo zveřejnilo statistiky bezpečnosti z Arizony. *Autonomne* [online]. 2020 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.autonomne.cz/aktuality/waymo-zverejnilo-statistiky-bezpecnosti-z-arizony>

- [40] Model S. *Tesla* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: https://www.tesla.com/cs_CZ/models
- [41] Analýza autonomních vozidel. *Česká asociace pojišťoven* [online]. 2020 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: https://www.cap.cz/images/Analzyz/Analzyza_autonomnich_vozidel.pdf
- [42] Accelerate autonomous vehicle development in the virtual world. *NVIDIA* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.nvidia.com/en-us/self-driving-cars/simulation/>
- [43] Proč autonomní auta najíždějí v simulátorech více kilometrů než na silnicích. *VTM* [online]. 2018 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://vtm.zive.cz/clanky/proc-autonomni-auta-najizdeji-v-simulatorech-vice-kilometru-nez-na-silnicich/sc-870-a-194440/default.aspx>
- [44] Virtual Test Drive. *MSC Software* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.mscsoftware.com/product/virtual-test-drive>
- [45] ADAS & AV System Simulation. *Siemens* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/simulation-test/active-safety-system-simulation.html>
- [46] Ansys Autonomous Vehicle Simulation. *Ansys* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.ansys.com/products/av-simulation>
- [47] Ansys VRXPERIENCE Driving Simulator Powered. *Ansys* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.ansys.com/products/av-simulation/ansys-vrxperience-driving-simulator>
- [48] Ansys VRXPERIENCE Headlamp. *Ansys* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.ansys.com/products/av-simulation/ansys-vrxperience-headlamp>
- [49] Ansys VRXPERIENCE Sensors. *Ansys* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.ansys.com/products/av-simulation/ansys-vrxperience-sensors>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ADAS	pokročilé asistenční systémy řidiče
AŽD	řídící a zabezpečovací systémy pro dopravu
C-ITS	kooperativní inteligentní dopravní systémy
DiL	Driver in Loop
DSRC	komunikace krátkého dosahu
HiL	Hardware in Loop
HPC	vysokovýkonné výpočetní prostředí
ITS	inteligentní dopravní systémy
KPMG	celosvětová síť poradenských společností
MDCR	Ministerstvo dopravy České republiky
MiL	Model in Loop
NCAP	Evropský program hodnotící bezpečnost vozidel
RCA	Radio Corporation of America
SAE	society of automobile engineers
SiL	Software in Loop
SŽDC	Správa železnic
V2C	vozidlo s cloudem
V2I	vozidlo s infrastrukturou
V2P	vozidlo s chodcem
V2V	vozidlo s vozidlem
V2X	vozidlo se vším okolo
ViL	Vehicle in Loop